

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-067235

(43)Date of publication of application : 11.03.1994

BEST AVAILABLE COPY

(51)Int.Cl.

G02F 1/37

(21)Application number : 04-224141

(71)Applicant : SANYO ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 24.08.1992

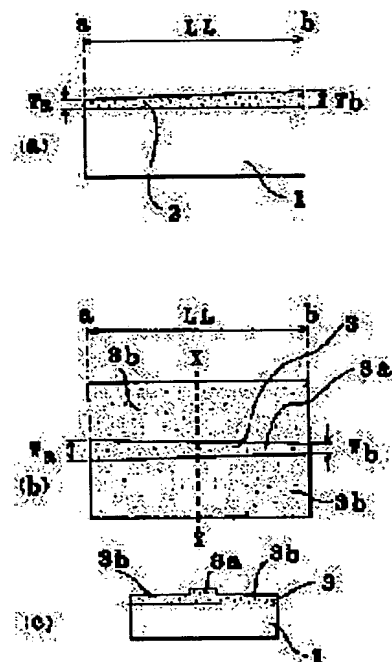
(72)Inventor : MORI KAZUSHI
MATSUMOTO MITSU HARU
TODA TADAO
NONAKA HIDEYUKI

(54) WAVELENGTH CONVERSION DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To enable good phase matching and to improve the efficiency of conversion from a basic wave to a second harmonic wave by forming a channel type waveguide in such a manner that its channel part has the width approximately inversely proportional to its thickness.

CONSTITUTION: This wavelength conversion device is produced by using a wafer deposited with a nonlinear optical crystalline film 2 of KNbO₃ (potassium niobate) on the surface of an MgO substrate 1. The film thickness between both ends (a) and (b) of this KNbO₃ film 2 changes linearly. The channel type waveguide layer 3 consisting of the nonlinear optical single crystal of the KNbO₃ formed by dry etching, etc., has the ridge type channel part 3a in the central part on the surface of the MgO substrate 1 and is formed with flat parts 3b with the thickness thinner than the thickness of the channel part on both sides thereof. The width of the channel part 3a is obtd. by calculating the phase matching width at both ends (a), (b) of the channel part 3a and the width between both ends (a) and (b) is linearly changed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 6 - 6 7 2 3 5

(43) 公開日 平成6年 (1994) 3月11日

(51) Int. Cl. ⁵

G 0 2 F 1/37

識別記号

庁内整理番号

8106 - 2 K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 2

(全 1 1 頁)

(21) 出願番号 特願平4-224141

(22) 出願日 平成4年 (1992) 8月24日

(71) 出願人 000001889

三洋電機株式会社

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号

(72) 発明者 森 和思

大阪府守口市京阪本通2丁目18番地 三洋電機株式会社内

(72) 発明者 松本 光晴

大阪府守口市京阪本通2丁目18番地 三洋電機株式会社内

(72) 発明者 戸田 忠夫

大阪府守口市京阪本通2丁目18番地 三洋電機株式会社内

(74) 代理人 弁理士 西野 卓嗣

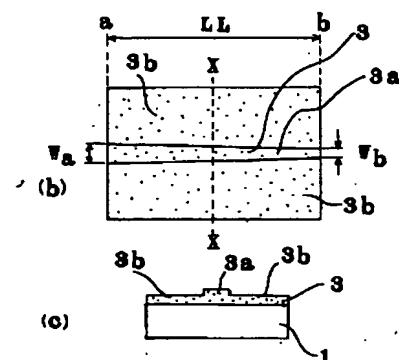
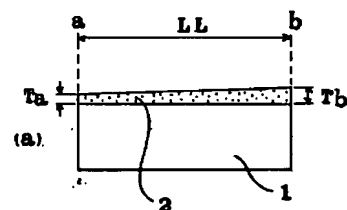
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長変換装置

(57) 【要約】

【目的】 非線形光学材料を用いて第2高調波 (SH波) を発生させる波長変換装置において、十分な位相整合を行うことができ、高変換効率を得ることを目的とする。

【構成】 基板1と、厚みが一定でないチャンネル部3aをもつ非線形光学材料からなるチャンネル型導波路層3から構成され、該チャンネル部3aはその厚みに略反比例した幅をもつ。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、該基板上に形成された厚みが増加しているチャンネル部を持つ非線形光学材料からなるチャンネル型導波路とから構成され、該導波路を用いて基本波から第2高調波を発生させる波長変換装置において、

該チャンネル部はその厚みに略反比例した幅をもつことを特徴とする波長変換装置。

【請求項2】 基板と、該基板上に形成された非線形光学材料からなる導波路とから構成され、該導波路を用いて基本波から第2高調波を発生させる波長変換装置において、該導波路に弾性波発生装置を機械的に関連付け、該弾性波発生装置から発生する表面弾性波を前記導波路中にその導波路長方向に伝播させることを特徴とする波長変換装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

$$P_o/P_i = C(\omega) \times P_i \times L^2 \times \text{sinc}^2(\Delta\beta \times L/2) \quad \dots (1)$$

ここで、 $\Delta\beta$ は次式(2)で表される。

$$\Delta\beta = \beta_o - 2\beta_i = 2\pi \times (n_i - n_o) / \lambda \quad \dots (2)$$

ここで、 $C(\omega)$ は比例定数、 L は導波路長方向の距離、 β_i は基本波の位相定数、 β_o は第2高調波の位相定数、 n_i は基本波に対する屈折率、 n_o は第2校長波に対する屈折率、 λ は第2高調波の波長である。

【0007】前式(1)と前式(2)から判るように、斯る波長変換装置において、第2高調波発生(SHG)を効率よく行うためには、基本波(入射光)と第2高調波の空間的重なりが大きくなるように同じ次数のモード間で位相整合($\Delta\beta=0$)させる必要がある。即ち、前記位相整合が行われるとは、基本波の速度と発生する高調波の速度を等しくすることを意味し、言い換えると基本波と高調波に対する屈折率を等しくすることを意味する。

【0008】非線形光学結晶が、図14に示すようなX軸方向の屈折率(曲線X)及びZ軸方向の屈折率(曲線Z)をもつ分散特性(複屈折)を示す光学異方性結晶である場合、図中a点の波長はb点の波長 2λ の半分の λ であり、且つ屈折率が等しくなるので、位相整合条件を満足する。この分散特性は温度により微調可能で、基本波または高調波の波長を変えることができる。従って、所望の波長に変換できる材料を選択すれば、効率よく変換可能である。

【0009】しかしながら、所望の波長を得られる良好な材料が存在しないので、位相整合を行うために様々な装置が研究されている。この中で、基本波を狭い空間、所謂チャンネル型導波路に閉じ込める構造の波長変換装置はより小型化、高出力化が期待されている。図15

(a)及び同図(b)に従来の波長変換装置の一例の斜視図及び端面図を示す。

【0010】図中、101は例えばMgO基板であり、

2

*【産業上の利用分野】本発明は光の波長を短波長に変換する波長変換装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、情報の高密度化が活発になっており、光情報機器に用いる光をより短波長化する研究が活発に行われている。そして、この他にも医療や化学産業など種々の分野においても短波長コヒーレント光が必要となっている。

【0003】短波長コヒーレント光を得る方法として、非線形光学材料を用いて第2高調波(SH波)を発生させる波長変換装置が活発に研究されており、青色や緑色コヒーレント光等を提供するものとして注目されている。

【0004】ところで、波長変換装置において、基本波の強度 P_i と高調波の強度 P_o の比は次式(1)で表される。

* 【0005】

※ ※ 【0006】

該基板101の表面には該表面中央部にストライプ状リッジ形のチャンネル部102aを備え、その両側をこれよりも厚さの薄い平坦部102b、102bとした非線形光学材料、例えばKNbO₃(ニオブ酸カリウム)からなるチャンネル型導波路層102が形成されている。尚、基板101は前記チャンネル型導波路層102に比べて低い屈折率をもつ材料から選択されている。

【0011】そして、基本波103は前記チャンネル部102aの一方の端面に入射され、変換された第2高調波104がこのチャンネル部102aの他方の端面から出射される。

【0012】ここで、チャンネル部102aの厚みTR、チャンネル部102aの段差幅D、チャンネル部102aの幅W、及び平坦部102b、102bの厚みTFは基本波103と高調波104の位相整合が行えるように、即ち基本波103と高調波104に対する実効屈折率が等しくなるように設定されている。

【0013】斯る波長変換装置の製造は例えば以下の様に行われる。

【0014】最初に、基板101上に前記非線形光学材料からなる薄膜を液相エピタキシャル法(LPE法)、又はスパッタリング法等を用いて成膜する。その後、前記薄膜上にフォトリソグラフィ技術等により前記チャンネル部102aに対応する部分にストライプ状マスクを形成し、該マスクを介してドライエッチング等により平坦部102b、102bを形成すると共にチャンネル部102aを形成して完成される。

【0015】しかしながら、成膜時における基板101の温度勾配等の原因により、前記基板101上に形成する非線形光学材料からなる薄膜の膜厚が不均一になる。

3

この結果、光軸方向の一部しか位相整合が成立しないため、良好な位相整合が行われず、十分な変換効率が得られないといった問題があった。

【0016】更に、別の方法として、非線形光学材料から成る導波路の光学特性に周期的な変化を導入するもの（擬位相整合法）が知られている。このとき、 $\Delta\beta$ は周期的な光学特性変化を引き起こす摂動項が加えられて、 $\Delta\beta$ は次式（3）のように表される。

$$\Delta\beta = \beta_1 - 2\beta_0 + 2\pi/\Lambda \quad \dots (3)$$

この場合、一般に $\Delta\beta - 2\pi/\Lambda = 0$ の時に位相整合する。ここで、 Λ は前記光学特性変化の1周期長である。

【0018】従って、この方法を用いる装置では、 $\Delta\beta - 2\pi/\Lambda = 0$ となるように周期 Λ を設定することにより、位相整合が行えるのである。

【0019】このように光学特性に周期的変化を導入するものとしては、強誘電体である非線形光学材料に周期的な分極反転を設ける所謂周期ドメイン反転構造の波長変換装置が知られている。図16に斯る波長変換装置の一例の斜視図を示す。

* 20

$$\Lambda/2 = (2m+1)/4 \times 2\lambda / (n_o - n_i) \quad \dots (4)$$

ここで、 2λ は真空中での基本波の波長、 m は任意の整数を示している。尚、 $\Delta\beta - 2\pi/\Lambda = 0$ を満足するのは、（4）式中で $m=0$ となる場合であるが、 m が0以外の場合でも位相整合可能である。

【0024】また、光学特性に周期的変化を導入した別の装置としては、非線形光学材料からなる導波路に周期的な間隔をもつ電極を設け、該電極に電圧を印加して導波路の光の通過する部分の屈折率を周期的に変化させる装置が、Applied Physics Letters, Vol. 26, No. 7, 1, April, 1975のp375～p377に記載されている。

【0025】更に、非線形光学材料からなる導波路に接触させて回折格子を形成する方法、や周期的に非線形光学定数を変調する方法などがある。

【0026】しかしながら、非線形光学材料から成る導波路の光学特性に周期的な変化を導入する装置では、基本波の波長 2λ が少しずれただけで位相整合条件を満足しなくなり、変換効率が急激に低下するといった問題があった。また、前記周期には0.01Å程度の精度が必要であり、このような精度をもった周期構造を数mm～数cmの範囲に亘って作製することは困難であった。

【0027】上述したように、非線形光学材料を用いて第2高調波（SH波）を発生させる従来の波長変換装置では、十分な位相整合を行うことが困難であり、高変換効率を得ることができなかった。

【0028】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上述の問題点を鑑み成されたものであり、十分な位相整合が可能な波長変換装置を提供することを目的とする。

4

* 【0020】図中、111は例えばLiTaO₃非線形光学結晶基板である。112は前記基板111の表面中央部に酸処理等により形成されたストライプ状埋め込み構造のチャンネル部で、Li（リチウム）がH（水素）に置換されてLiTaO₃に比べて高屈折率になっている。

【0021】そして、113、113、・・・は前記基板111の表面の分極が該基板111自体の分極と反転して成る分極反転領域で、例えばTi（チタン）等を拡散した後、加熱して形成される。

【0022】この装置では、周期的な分極反転に対応して二次非線形光学定数の符号が反転される、即ち分極反転領域では発生する高調波の位相が π だけシフト（これは図17に示すように基本波の位相が該反転領域で位相が π だけシフトすると同じことである）するので、分極の反転周期 Λ を次式（4）を満足するように設定することにより位相速度を巨視的にみた場合に見かけ上速度を一致させることが可能である。

【0023】

【0029】

【課題を解決するための手段】本発明の波長変換装置は、基板と、該基板上に形成された厚みが変化しているチャンネル部を持つ非線形光学材料からなるチャンネル型導波路とから構成され、該導波路を用いて基本波から第2高調波を発生させる波長変換装置において、該チャンネル部はその厚みに略反比例した幅をもつことを特徴とする。

【0030】本発明の別の波長変換装置は、基板と、該基板上に形成された非線形光学材料からなる導波路とから構成され、該導波路を用いて基本波から第2高調波を発生させる波長変換装置において、該導波路に弾性波発生装置を機械的に関連付け、該弾性波発生装置から発生する表面弾性波を前記導波路中にその導波路長方向に伝播させることを特徴とする。

【0031】

【作用】厚みが変化しているチャンネル部をもつ非線形光学材料からなるチャンネル型導波路から構成され、該導波路を用いて基本波から第2高調波を発生させる波長変換装置において、該チャンネル部はその厚みに略反比例した幅をもつようにすると、良好な位相整合が可能となり、基本波から第2高調波への変換効率が良好になる。

【0032】また、基板と、非線形光学材料からなる導波路とから構成され、該導波路を用いて基本波から第2高調波を発生させる波長変換装置において、該導波路に表面弾性波をその導波路長方向に伝播させ、該弾性波の音響光学効果により、該導波路の屈折率に高精度な周期的変化を生じさせることができるので、良好な位相整合

が可能となり、基本波から第2高調波への変換効率が良好になる。

【0033】

【実施例】以下、本発明に係る一実施例のチャンネル型導波路をもつ波長変換装置について図1を参照しつつ説明する。

【0034】図1(a)はMgO基板1の一主面である(110)面上にKNbO₃(ニオブ酸カリウム)非線形光学結晶膜2を液相エピタキシャル成長法(LPE法)により堆積した場合のウエハの断面図である。このKNbO₃膜2の膜厚測定を、波長変換装置とした場合の導波路長(光軸)方向(長さLL=10mm)に沿って行った。この測定の結果、端aと端bでの膜厚がそれぞれTa=2.30μm、Tb=2.42μmで、両端間a、bの膜厚は直線的に変化していた。

【0035】図1(b)は斯るウエハを用いて作製した波長変換装置の上面図であり、図1(c)は同図(b)中の破線X-Xでの断面図である。

【0036】図1(b)及び図1(c)中、3はKNbO₃非線形光学単結晶からなるチャンネル型導波路層で、前記MgO基板1の一主面である(110)面上の中央部にリッジ形チャンネル部3aを備え、その両側をこれよりも厚さの薄い平坦部3b、3bが形成されている。

【0037】基本波の波長が0.88μmの場合に位相整合が行えるように、前記チャンネル部3aは、端aでの幅Waが4.02μm、端bでの幅Wbが3.86μmで、両端a、b間での幅は直線的に変化するように設定され、また、平坦部3bの厚みは元のウエハのKNbO₃膜2の膜厚より0.30μm小さく設定されている。

【0038】ここで、前記リッジ形チャンネル部3aの幅は次の様に設定した。上述のようにKNbO₃膜2の膜厚が直線的に変化している場合は、位相整合するためのチャンネル部3aの幅も略直線的に変化するので、チャンネル部3aの両端a、bでの位相整合幅を計算により得、該両端a、b間のチャンネル部3aの幅は直線的に変化させた。

【0039】前記チャンネル型導波路層3は、前記チャンネル部3aに対応するレジストパターン膜を電子ビーム描画法、または光強度変調を使ったレーザビーム描画法等により前記ウエハのKNbO₃膜2上に形成し、該レジストパターン膜をマスクとしてドライエッチング等により除去して平坦部3b、3bを形成すると共にリッジ形チャンネル部3aを作製して形成される。

【0040】本実施例の波長変換装置と、チャンネル部の構造が幅3.94μmと一定である以外は本実施例と同じである比較例の波長変換装置との波長0.88μmから0.44μmへの変換効率を測定した。ここで、波長0.88nmの光を出力する光源として、ここでは半

導体レーザ装置を用いた。尚、比較例装置のチャンネル部のストライプ幅はチャンネル部の両端の膜厚Ta=2.30μmと膜厚Tb=2.42μmの間をとった値2.36μmに対応して設定した。

【0041】この測定の結果は、本実施例の装置が比較例の装置に比べて約4倍の変換効率であった。

【0042】次に第2実施例のリッジ構造の波長変換装置について説明する。

【0043】図2(a)はMgO基板11の一主面である(110)面上にKNbO₃非線形光学結晶膜12をスパッタリング法により堆積した場合のウエハの断面図である。このKNbO₃膜12の膜厚測定を、波長変換装置とした場合の導波路長方向(長さLL=10mm)に沿って行った。この測定の結果、前記膜12は端aと端bでの膜厚がそれぞれTa=2.27μm、Tb=2.31μmで、両端間a、bの中央の膜厚がTc=2.36μmである円弧形状であった。

【0044】図2(b)は斯るウエハを用いて作製した波長変換装置の上面図である。

【0045】図2(b)中、13は非線形光学単結晶KNbO₃からなるチャンネル型導波路層で、該基板11の一主面である(110)面上に該面中央部にリッジ形チャンネル部13aを備え、その両側をこれよりも厚さの薄い平坦部13b、13bで構成されている。

【0046】基本波の波長を0.88μmとした場合に位相整合が行えるように、前記チャンネル部13aは、端aでの幅Waが4.05μm、端bでの幅Wbが4.01μmで、中央cは幅Wcが3.92μmとなるように鏡映対称の関係にある2つの円弧で挟まれた形状に設定され、また、平坦部13b、13bの厚みは元のウエハのKNbO₃膜12の膜厚より0.30μm小さく設定している。尚、前記チャンネル型導波路層13は、第1実施例と同様の方法で形成し、またチャンネル部13aの幅も第1実施例と同様にストライプ状のリッジ形チャンネル部をもつ波長変換装置が位相整合を行う幅と略同じ値に設定した。

【0047】本実施例の波長変換装置の波長0.88μmから0.44μmへの変換効率を第1実施例と同様の方法で測定した。

【0048】この測定の結果、本実施例の装置は上記KNbO₃膜12の上記3点a、b、cでの膜厚の平均値2.31μmの膜厚において位相整合する一定幅4.01μmのチャンネル部をもつ以外は、本実施例と同じである比較例の波長変換装置に比べて約3.5倍であった。

【0049】このように第1、第2実施例では、非線形光学材料からなるチャンネル型光導波路層のチャンネル部の幅をチャンネル部の厚みに対応して変化(略反比例して変化)するので、良好な位相整合が行える。従って、基本波から高調波に効率よく変換できる。

【0050】ここで、厚みの異なるチャンネル部の幅は、厚みの一定なストライプ状のリッジ形チャンネル部をもつ図15に示す従来の波長変換装置における該厚みを前記厚みの異なるチャンネル部の厚みに等しくした場合に、位相整合する幅と略同等の幅に設定するのがよい。

【0051】尚、上述の第1、第2実施例ではチャンネル型光導波路をリッジ構造とした波長変換装置について説明したが、誘電体装荷構造あるいはその他の構造の波長変換装置にも適宜利用でき、勿論非線形光学材料もKNbO₃、そして基板もMgOに限定されることはなく、適宜変更可能である。

【0052】次に、第3実施例についてその斜視図を参照しつつ説明する。

【0053】図3中、21は例えばLiNbO₃（ニオブ酸リチウム）基板で、例えば導波路長は5～10mm、幅3～5μmである。22は前記基板21の表面中央部に酸処理等によるプロトン交換法により形成されたストライプ状埋め込み構造のチャンネル部（光導波路）で、Li（リチウム）がH（水素）に置換されてLiNbO₃に比べて高屈折率になっている。

【0054】前記基板21の光入射側端面には、チャンネル部22への光入射を妨げないように該チャンネル部22に隣接して例えば左側に表面弾性波を発生する弾性波発生装置（トランジューサ）23が接着材等により固着されている。この発生する表面弾性波はチャンネル部22内を導波路長方向へ伝播する。

【0055】そして、前記基板21の光出射側端面のチャンネル部22の両側には、表面弾性波が反射して前記光入射側に戻るのを防ぐために、例えばアルキド系非導電性樹脂等の弾性波吸収体24、24が接着材等に固着されている。

【0056】本実施例では基本波としてTM-likeモード（電界の振動方向が基板21の表面と垂直である）の光を前記チャンネル部22に入射し、表面弾性波として、前記基板端面に対して垂直に振動する横波に近いものを用いた。

【0057】そして、斯る波長変換装置を図4に示す光学素子と組み合わせたシステムにおいて次の波長変換実験を行った。

【0058】即ち、前記弾性波発生装置23を作動し、表面弾性波を発生させた状態で、図示しない半導体レーザ装置から出力した波長830nmのレーザ光（基本波）をレンズ25により斯る波長変換装置のチャンネル部22に集光、入射した。そして、前記表面弾性波の周波数fを1GHz付近に調整した時、前記チャンネル部22から高調波に変換されなかったレーザ光を除去するフィルター26を介して波長415nmの光（第2高調波）を従来に比べて高効率に取り出した。

【0059】また、前記半導体レーザ装置に代えて、波長1.06μmの光を出力するYAGレーザ装置を用い

て上述と同様な波長変換実験も行った。

【0060】この時、前記弾性波発生装置23から発生する表面弾性波の周波数fを数十～数百MHzの間に設定することにより波長0.53μmの光を従来に比べて高効率に取り出した。

【0061】このように、高効率に波長変換できたのは、前記表面弾性波の周波数f（=v/λ）を調整して十分な位相整合（即ちΔβ-2π/λ=0）が行えたためである。ここで、Δβはπ/μm程度であり、vは表面弾性波の速度で、通常上述のようなチャンネル部22においては数千m/秒である。

【0062】次に、第4実施例について図5を参照しつつ説明する。尚、第3実施例と同一部分、又は対応する部分には同一符号を付す。

【0063】ここで、上記第3実施例と異なる点は、前記基板21の光入射側端面にチャンネル部22への光入射を妨げないように該チャンネル部22に隣接して右側にも、即ち該チャンネル部22の両側に隣接して表面弾性波を発生する弾性波発生装置23、23を接着材等により固着した点である。

【0064】斯る波長変換装置では、弾性波発生装置23、23がチャンネル部22の両側に隣接して、即ちチャンネル部22に対称に光入射側端面に設けられているので、該弾性波発生装置23、23からそれぞれ発生され、干渉した表面弾性波の波面はチャンネル部22内において完全に対称になり、また、表面弾性波の強度を上記実施例に比べて2倍にすることができる。従って、第3実施例よりも変換効率が向上した。

【0065】次に、第5実施例について図6を参照しつつ説明する。尚、第3実施例と同一部分、又は対応する部分には同一符号を付す。

【0066】ここで、上記第3実施例と異なる点は、第3実施例において設けていた弾性波吸収体24、24を取り除いて、基板21の光入射側端面に設けられた弾性波発生装置23と対角に位置する基板21の光出射側端面に弾性波発生装置23を設けた点である。

【0067】斯る波長変換装置は、弾性波発生装置23、23から発生する表面弾性波を定在波にできるので、周期λが高精度になり、第3実施例に比べて変換効率が大きくなる。尚、この装置では、定在波でなくとも略定在波であれば効果があった。

【0068】次に、第6実施例について図7を参照しつつ説明する。

【0069】上記第3実施例と異なる点は、第3実施例において弾性波発生装置23と対向する側の基板21の長手端面全域に導波路構成用溝27を設けた点である。

【0070】斯る波長変換装置は、弾性波発生装置21から発生する表面弾性波が広がらずに進行し、弾性波のパワーが集中するので、変換効率が大きくなる。尚、上述のような構造に限らず、表面弾性波の横方向への進行

を制限する溝等を設けることにより変換効率を大きくできる。

【0071】次に、第7実施例について図8を参照しつつ説明する。

【0072】第3実施例と異なる点は弾性波発生装置23を取り除き、 LiNbO_3 （ニオブ酸リチウム）基板21自体の圧電特性を利用して、該基板21自体に弾性波発生装置と同様の動作を行わせる点である。

【0073】図8中、28a、28bは基板21上面の一方の端側にチャンネル部22及び該チャンネル部22の両側を跨り、噛合した状態で構成される銅、アルミニウム等からなる櫛型電極で、蒸着法等により形成される。

【0074】斯る波長変換装置は、表面弾性波がチャンネル部22内を対称に伝播するので、周期 Λ がより高精度になり、第3実施例に比べて変換効率が大きくなる。また、この構造では、部品点数が少なくでき、製造工程の簡略化、低コストにできるといった利点がある。

【0075】上記第3～第7実施例に示した以外にも適宜種々の位置に弾性波発生装置を設けても効果がある。例えば、基板の端面のうちチャンネル部に近接した下側に設けた場合も効果がある。この場合はチャンネル部内を伝播する表面弾性波が完全に対称になるのでより変換効率が大きくなる。

【0076】また、波長変換装置としては、チャンネル型構造以外の種々の構造のものに適用できる。

【0077】ところで、上記各実施例のように構成すれば、従来に比べて位相整合が十分に行える波長変換装置を提供できる。しかしながら、従来の波長変換装置を始め、上記各実施例の波長変換装置は、一般に基本波の波長 2λ が数百nm、導波路長が数mmであるので、一般式(1)から判るように、屈折率が 10^{-5} のわずかな変動でも位相整合が十分に行われず、変換効率が著しく劣化する。このことから判るように、温度等の変動により装置の屈折率が変化する場合にも変換効率の劣化が生じるといった問題があった。この問題は装置の温度制御や電界の印加等の方法で補正が可能であるが、前式

(1)中の $y = \sin c(x)$ 関数は図9に示すように変動が大きいので、単に高調波の出力をモニターして補正することは困難である。何故なら、装置の温度制御や電界の印加等により補正する場合、高調波の強度は無数の点で極大値をもつので、最大極大値($\Delta\beta=0$)であるかを判定するために、温度または電界等のパラメータを連続的に変化させる必要があり、補正するのに多大な時間を要した。しかも基本波光源が出力する基本波(通常レーザ光)も一般に一定でないので、最大極大値($\Delta\beta=0$)であるかを判定するのがより困難であった。

【0078】従って、位相整合が行えるように短時間に補正できないので、基本波から第2高調波への変換効率が小さくなるといった問題があった。

【0079】ここで、この温度等の変動による位相整合の劣化を正確に且つ短時間にモニターできる装置について説明する。

【0080】まず、原理を説明する。導波路中の高調波の強度分布は前式(1)により求めることができる。例えば、 $\Delta\beta L=0, \pi, 3\pi$ 、又は 5π の場合、導波路中の入射端から距離 L の位置と高調波の強度は図10に示すようになる。ここで、図10は出力端での強度が1となるように正規化している。

【0081】この図10から判るように、出力端における高調波強度が極大になるように温度調節を行うことは、 $\Delta\beta L$ が0、または $\pi \times$ 奇数に対応する。従って、このように一旦高調波強度が極大に設定した場合、出力端の高調波強度に対する導波路中の任意の距離 L ($L=0$ を除く)の位置における高調波強度の比率は、基本波を出力する光源の出力変動や光軸ずれ等による導波路に入射する基本波の入力変動に依存せず一定である。この結果、出力端の高調波強度と導波路中の任意の距離 L ($L=0$ を除く)における高調波強度をモニター、演算処理して得られる強度比を $\Delta\beta=0$ の場合の強度比と比較することにより、現在の $\Delta\beta$ 値を検値できる。

【0082】次に、斯る方法を前述した図16に示す波長変換装置と同様のドメイン反転構造の波長変換装置に適用して位相整合を調整した例について図11の装置斜視図と、図12にその装置回路図を用いて説明する。尚、図16と同一部分または対応する部分には同一符号を付す。尚、基本波としては、半導体レーザ装置が出力する波長830nmのレーザ光を用いた。

【0083】図11及び図12中、30a、30bは基本波である波長830nmの光をカットするフィルター31a、31bをそれぞれ備えた例えばフォトダイオード素子からなる光検出器であり、このうち、一方の光検出器30aは光導波路112上面のうち出力端に載置されており、他方の光検出器30bは例えば光導波路112上面のうち入力端から距離 $3/5 \times L$ の位置に載置されている。ここで、両検出器30a、30bは導波路112より漏れるストリーク光(高調波)を検出する。

【0084】そして、図12中、32a、32bは前記光検出器30a、30bでそれぞれ検出された波長415nmの光に関する信号をアナログ信号からデジタル信号にA/D変換するA/D変換器で、33はA/D変換された前記光検出器30aと光検出器30bからの信号強度比を算出し、該信号強度比を $\Delta\beta=0$ の場合の信号強度比と比較して得られた $\Delta\beta$ の値に基づいて波長変換装置の温度調整を行う温度調整装置34に制御信号を送る制御回路である。

【0085】次に、位相整合の調整動作を図13のフローチャート図を用いて説明する。

【0086】まず最初に、前記半導体レーザ装置を動作させて、斯る波長変換装置のチャンネル部に例えばレー

ザ光を入力する。その後、図示しない制御装置からの信号により前記温度調整装置34が作動して波長変換装置の温度を連続的に上昇（または降下）させて、前記光検出器30aの出力信号が最初に極大になる（即ち現動作条件近傍で極大になる）温度に設定する（動作1）。

【0087】続いて、前記光検出器30a、30bからの出力信号をそれぞれA/D変換器32a、32bでデジタル信号に変換した後、両デジタル信号は制御回路33に送られて、前記光検出器30aと光検出器30bからの信号強度比を算出する（動作2）。

【0088】その後、前記制御回路33内で前記光検出器30aと光検出器30bからの信号強度比と、 $\Delta\beta=0$ の場合の信号強度比とを比較して、 $\Delta\beta$ 値を算出する（動作3）。

【0089】そして、前記 $\Delta\beta$ 値が略0の場合は、前記制御装置からの信号により前記温度調整装置34が作動し、前記光検出器30aの出力信号を検出しつつ波長変換装置の温度を上下に微調節して前記光検出器30aの出力信号を最大にする（動作4）。

【0090】また、前記 $\Delta\beta$ （ $\Delta\beta$ ） $>>0$ の場合には、あらかじめ調べてデータ化した前記 $\Delta\beta$ 値に対応する温度幅で下降（または上昇）させ、この動作により $\Delta\beta$ 値を略0にする。この時、前記光検出器30aの出力信号が先の極大値より小さいときは、前記温度幅の2倍の温度幅まで上昇させ、この動作により $\Delta\beta$ 値を略0にする（動作5）。その後、動作4と同様の動作を行う。

【0091】尚、波長変換装置が作動中は前記動作1～動作5が繰り返されるようにしてもよい。

【0092】この例では、 $\Delta\beta L$ が 15π より小さい時に良好に位相整合できた。尚、光検出器30bの位置を適宜変えることにより、 $\Delta\beta L$ がより大きい範囲で位相整合できるようにすることができる。

【0093】斯る装置では、光導波路上の光出射側端部と該端部以外に光検出素子を設けて、位相整合の補正を行っているが、光導波路上の少なくとも2ヶ所に光検出素子を設けても $\Delta\beta$ 値を求めることができる。尚、前記例では温度調節器により位相整合整合を行うようにしたが、光導波路上に電極を設けて、該電極に印加する電圧の制御により位相整合を行うようにしてもよい。また、種々の波長変換装置においても利用できるのは勿論である。

【0094】このように少なくとも2ヶ所に高調波の強度を検出する検出器を設け、このうち1つの光検出器の出力を極大値になるように一旦設定した後は、該光検出器と他の光検出器の出力を比較して、 $\Delta\beta$ を求めることができるので、基本波の出力変化に拘らず、位相不整合による高調波出力の低下時のみ作動して位相整合を行うことができる。

【0095】

【発明の効果】本発明の波長変換装置は、そのチャネル

ル部の厚みに略反比例した幅をもつので、良好な位相整合が可能となり、基本波から第2高調波への変換効率が良好になる。

【0096】また、本発明の別の波長変換装置と、導波路に表面弾性波をその導波路長方向に伝播させるので、該導波路の屈折率に高精度な周期的変化を生じさせることができる。この結果、良好な位相整合が可能となり、基本波から第2高調波への変換効率が良好になる。

【図面の簡単な説明】

10 【図1】本発明の第1実施例に係る波長変換装置を示す図である。

【図2】本発明の第2実施例に係る波長変換装置を示す図である。

【図3】本発明の第3実施例に係る波長変換装置を示す図である。

【図4】上記第3実施例に係る光学系システムを示す断面図である。

【図5】本発明の第4実施例に係る波長変換装置を示す斜視図である。

20 【図6】本発明の第5実施例に係る波長変換装置を示す斜視図である。

【図7】本発明の第6実施例に係る波長変換装置を示す斜視図である。

【図8】本発明の第7実施例に係る波長変換装置を示す図である。

【図9】 $y = \text{sinc}(x)$ 関数を示す図である。

【図10】第2高調波の強度と導波路の距離との関係を示す図である。

30 【図11】本発明の第8実施例に係る波長変換装置を示す図である。

【図12】上記第8実施例に係る回路図である。

【図13】上記第8実施例に係るフローチャート図である。

【図14】異方性光学結晶の分散特性を示す図である。

【図15】従来のチャネル型導波路構造の波長変換装置を示す図である。

【図16】従来の周期ドメイン反転構造の波長変換装置を示す斜視図である。

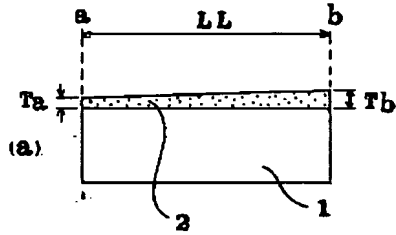
40 【図17】基本波及び第2高調波の位相を示す図である。

【符号の説明】

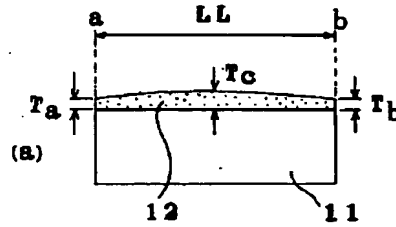
- | | |
|-----|-----------|
| 1 | 基板 |
| 3 | チャネル型導波路層 |
| 3a | チャネル部 |
| 3b | 平坦部 |
| 11 | 基板 |
| 13a | チャネル部 |
| 13b | 平坦部 |
| 21 | 基板 |
| 22 | 導波路層 |

23 弾性波発生装置

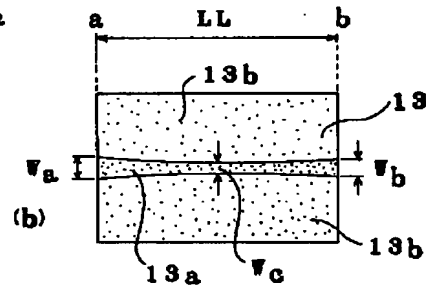
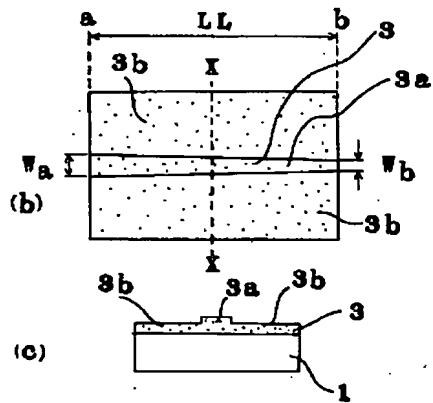
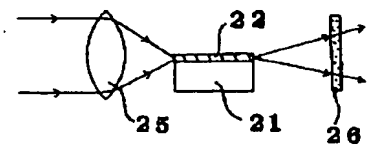
【図1】



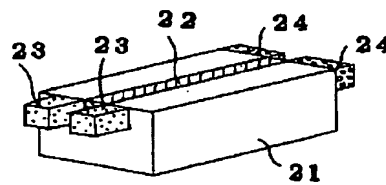
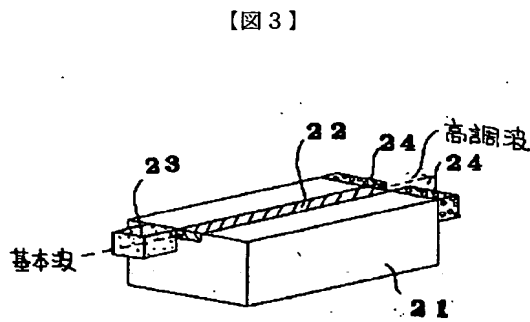
【図2】



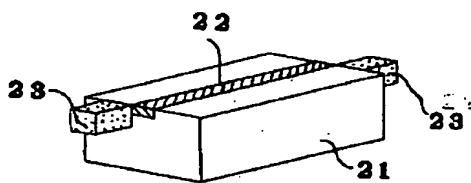
【図4】



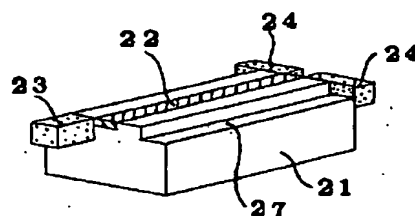
【図5】



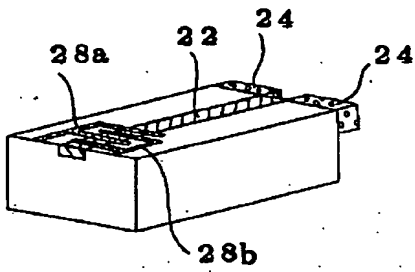
【図6】



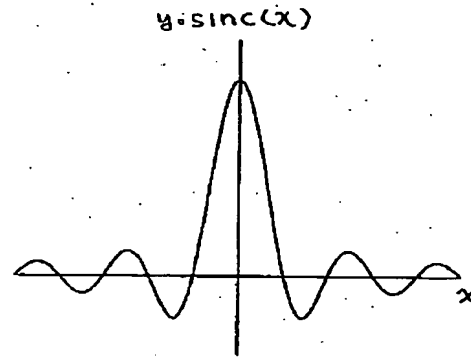
【図7】



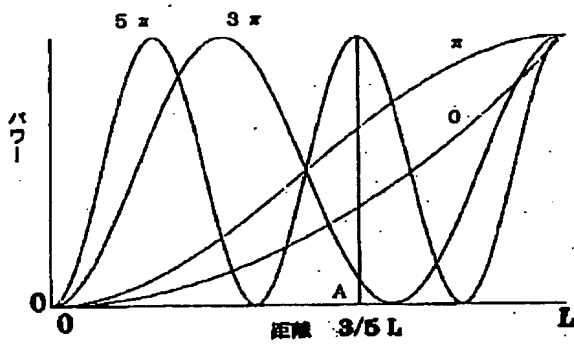
【図8】



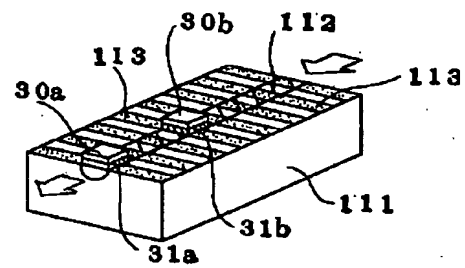
【図9】



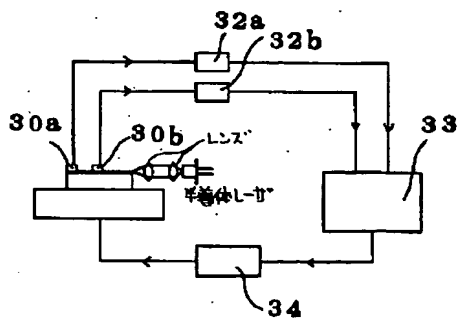
【図10】



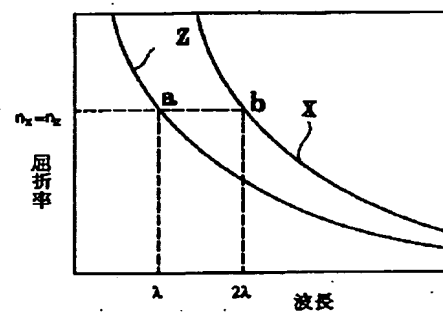
【図11】



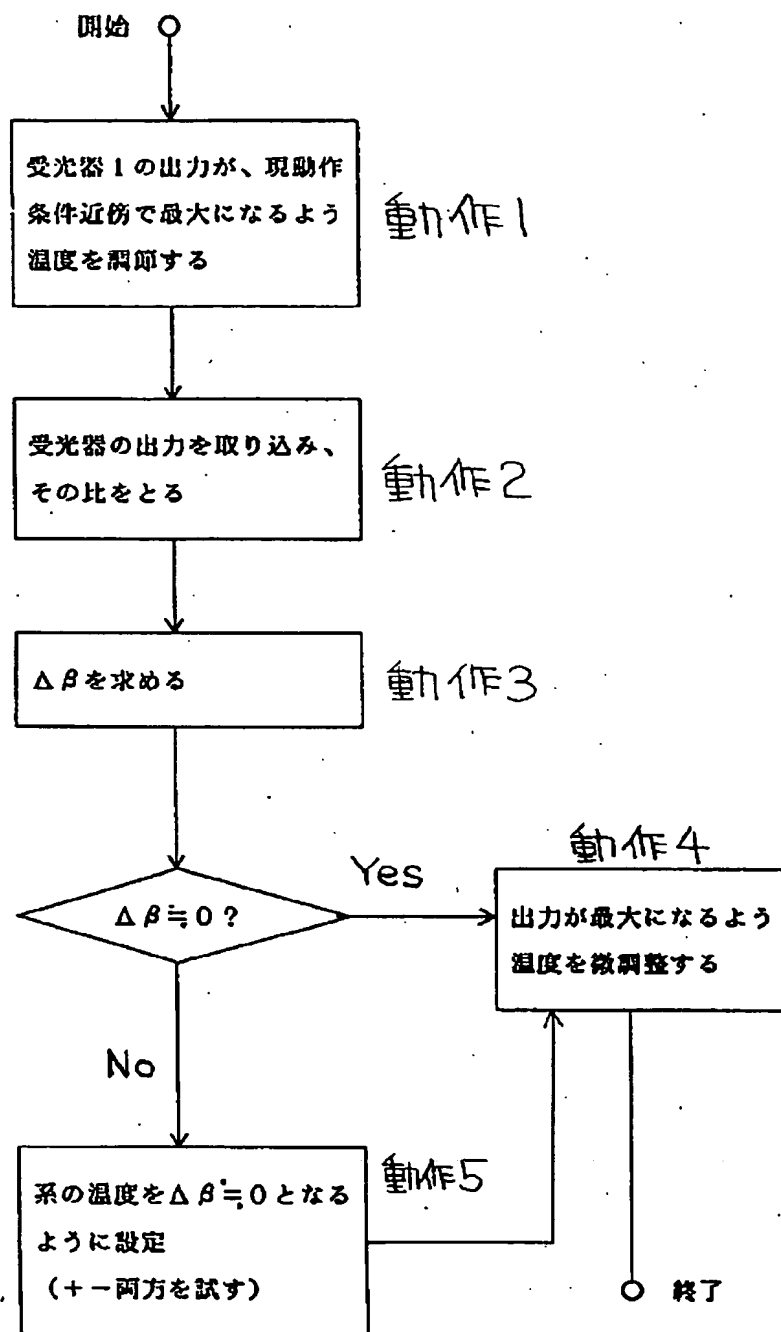
【図12】



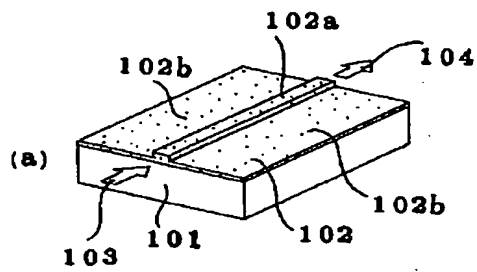
【図14】



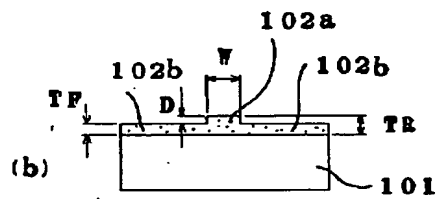
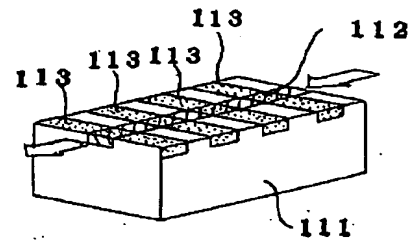
【図13】



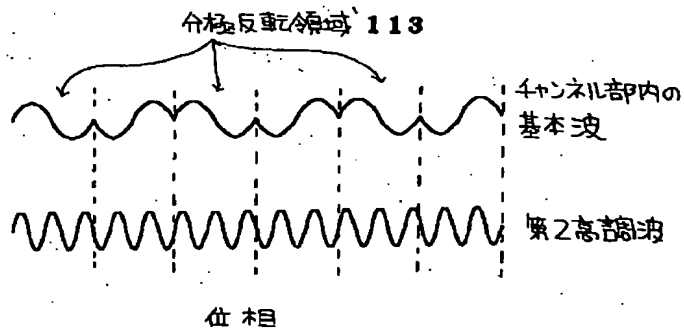
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(72) 発明者 野中 英幸
大阪府守口市京阪本通2丁目18番地 三洋
電機株式会社内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.